

# RIADENIE RT MODELU SÚSTAVY POMOCOUCO PLC SIMATIC

*Igor Béla, Juraj Gyepes, Ján Jovankovič*

Katedra automatizácie a regulácie, STU Bratislava, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Abstrakt:

Príspevok obsahuje opis použitia Real Time Windows Target na simuláciu sústavy spojených nádrží a jej riadenie. Riadenie sústavy je realizované pomocou PLC SIMATIC, radu S7-300. Uvedená aplikácia sa bude využívať v pedagogike na katedre automatizácie a regulácie, STU FEI. V príspevku je uvedený princíp implementácie modelu sústavy, jeho prepojenie s PLC, algoritmus riadenia sústavy a vzorové ukážky nameraných priebehov.

Kľúčové slová:

Matlab, Real-Time Windows Target, PLC, SIMATIC.

## 1 Úvod

V procese výuky sa na našom pracovisku používa riadiaci systém SIMATIC S7-300 v spojení s jednoduchými riadenými sústavami.

V snahe rozšíriť spektrum riadených sústav sme sa rozhodli realizovať programový model sústavy s elektrickými vstupmi a výstupmi. Tento model mal byť implementovaný pomocou počítača typu PC s vloženou I/O doskou s analógovými a binárnymi vstupmi a výstupmi.

Cieľom tvorby modelu bolo vytvoriť programátorovi PLC ilúziu, že pracuje s reálnou sústavou, ktorá generuje a spracováva elektrické analógové a binárne signály.

Pri realizácii modelu sme chceli použiť dostupné programové prostredie, ktoré umožňuje:

- realizovať aj dynamicky náročné modely sústav pracujúce v reálnom čase (RT modely),
- umožňuje komunikáciu s dostupnými I/O doskami – to znamená, že obsahuje ovládače bežne dostupných I/O dosiek, alebo ich umožňuje vytvoriť,
- programovanie v danom prostredí je graficky orientované.

Vyššie uvedené vlastnosti plne spĺňa programový balík Matlab/Simulink s knižnicou Real-Time Windows Target (RTWT). Umožňuje realizovať RT modely sústav s periódou vzorkovania rádovo stoviek  $\mu\text{s}$  a vyššou, obsahuje ovládače pre rad I/O dosiek a programovanie modelu sústavy je plne grafické - v prostredí Simulink.

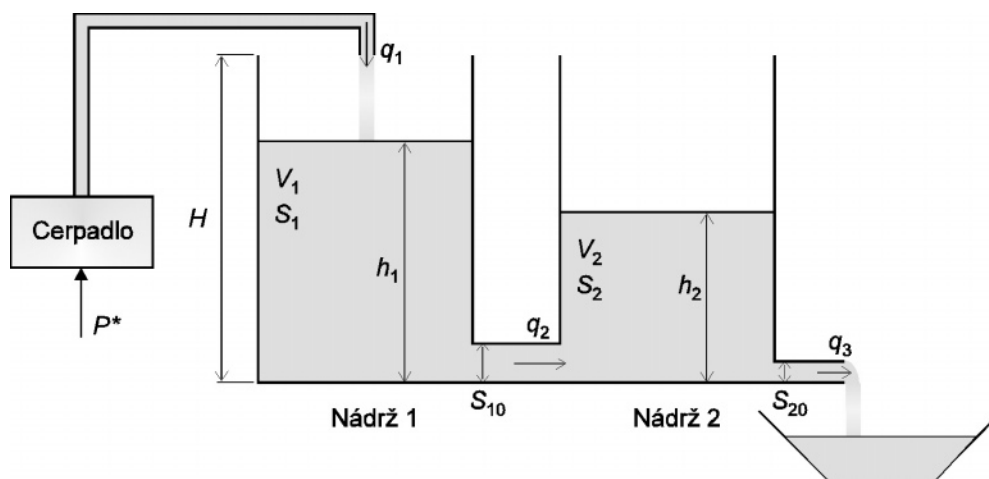
Na RT implementáciu sme zvolili sústavu spojených nádrží s voľným odtokom a riadeným prítokom kvapaliny.

V príspevku je opis modelu riadenej sústavy, opis riadiaceho systému SIMATIC S7-300, ktorý máme k dispozícii na našom pracovisku, princíp návrhu regulátora sústavy, jeho implementácia v PLC a ilustračné výsledky experimentu regulácie hladiny v jednej z nádrží.

## 2 Opis riadenej sústavy

Uvažujeme dvojhladinovú sústavu s voľnými hladinami a voľným odtokom podľa Obr. 1. Sústava pozostáva z dvoch nádrží (viď Nádrž 1 a Nádrž 2 na Obr. 1). Výška nádrží je  $H$  a plocha prierezu nádrží  $S_1, S_2$ . Nádrže majú konštantný prierez v celej výške. Odtok z nádrže 1 má prierez  $S_{10}$ , odtok z nádrže 2 má prierez  $S_{20}$ . Do nádrže 1 priteká kvapalina. Prítok pritekajúcej kvapaliny  $q_1$  je riadený čerpadlom. Výkon čerpadla  $P^*$  je možné plynule meniť v rozsahu 0 až 100 % maximálneho výkonu. Objem kvapaliny v nádrži 1 je  $V_1$  a výška

hladiny  $h_1$ . Kvapalina z nádrže 1 voľne prúdi do nádrže 2, s prietokom  $q_2$ . Objem kvapaliny v nádrži 2 je  $V_2$  a výška hladiny  $h_2$ . Kvapalina z nádrže 2 voľne oteká, s prietokom  $q_3$ .



Obr. 1 Dvojhladinová sústava

Sústava obsahuje snímače výšky hladín  $h_1$  a  $h_2$  s analógovým výstupom.

### Matematický model sústavy spojených nádrží

Pre dvojhladinovú sústavu dvoch spojených nádrží z Obr. 1 platí pre zmenu objemu  $V_1$  a  $V_2$  sústava diferenciálnych rovníc (1), (2).

$$\frac{dV_1(t)}{dt} = q_1(t) - q_2(t) \quad (1)$$

$$\frac{dV_2(t)}{dt} = q_2(t) - q_3(t) \quad (2)$$

Ak platia nasledovné podmienky:

$$S = S_1 = S_2 \quad (3)$$

$$q_1 = Ku(t) \quad (4)$$

Kde je:

$K$  – zosilnenie akčného člena [ $m^3/s$ ]

$u(t)$  – akčný zásah

Potom výšku hladiny kvapaliny v nádržiach vyjadrujú rovnice (5), (6).

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = u(t) \cdot \frac{K}{S} - \alpha \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} \quad (5)$$

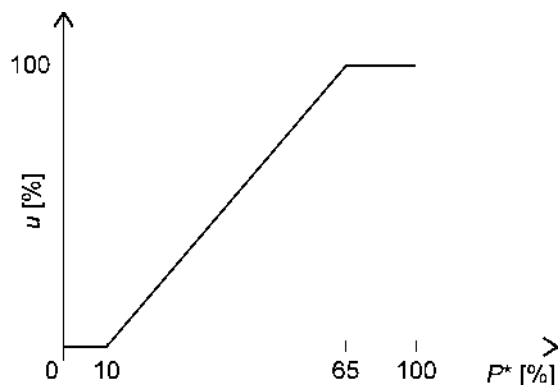
$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \alpha \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} - \beta \sqrt{h_2(t)} \quad (6)$$

Hodnoty koeficientov  $\alpha$ ,  $\beta$  sú závislé na veľkosti prierezov výtokov z nádrží 1, 2.

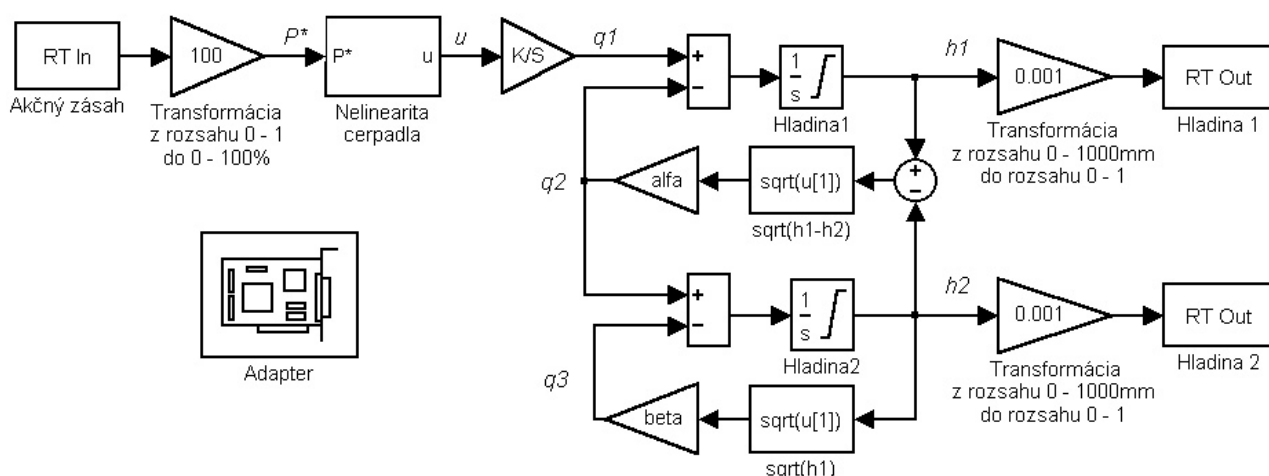
### Simulačný model

Simulačný model sústavy vychádza z rovníc (5), (6), pričom obsahuje nelinearitu prevodovej charakteristiky čerpadla (viď Obr. 2).

RT simulácia sústavy bola realizovaná pomocou Real-Time Windows Target 1.5, v prostredí Matlab 5.3, Simulink 3.0.1.



Obr. 2 Nelinearita prevodovej charakteristiky čerpadla



Obr. 3 Simulačný model sústavy s blokmi Real-Time Windows Target

Vstupné/výstupné signály modelu ( $P^*$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ) sú spracovávané/generované doskou AD512 od fy Humusoft, ktorá má rozlišovaciu schopnosť 12 bitov. Perióda vzorkovania simulácie modelu je  $T_v = 2$  ms. Parametre modelu sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1

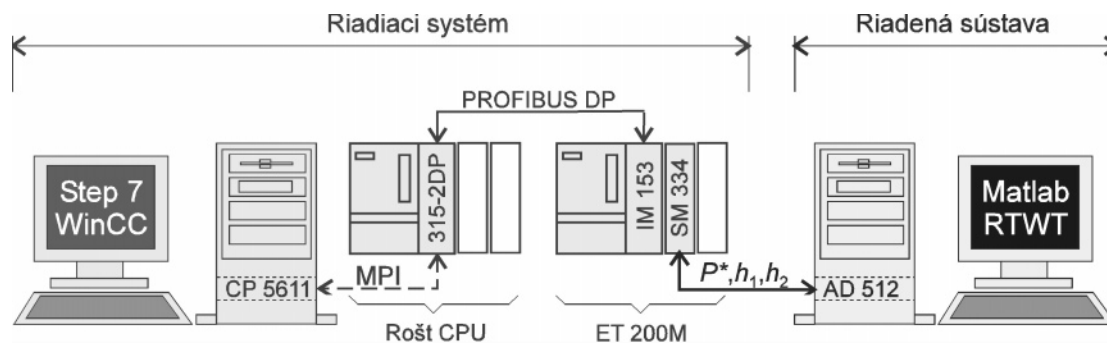
Parametre modelu

Parameter	Hodnota parametra
$K/S$	0.139 [mm/s]
$\alpha$	0.7752 [mm <sup>1/2</sup> /s]
$\beta$	0.2665 [mm <sup>1/2</sup> /s]

### 3 Opis riadiaceho systému - PLC SIMATIC S7-300

Na riadenie simulovanej sústavy je použitý PLC SIMATIC S7-300. PLC sa nachádza v dvoch roštoch (montážnych lištách) – v rošte CPU a v rošte modulu ET 200M (viď Obr. 4). Procesorová jednotka je typu SIMATIC CPU 315-2DP a zbernicou PROFIBUS DP je prepojená s modulom ET 200M, v ktorom je umiestnený modul analógových vstupov a výstupov SM 334. Základné parametre modulu SM 334 sú uvedené v tabuľke 2.

Prepojenie simulovanej sústavy a PLC je realizované 4-žilovým tieneným káblom. Prenášajú sa ním dva vstupné signály modulu SM 334 (t.j. výstupy riadenej sústavy  $h_1$ ,  $h_2$  na Obr. 3) a jeden výstupný signál (vstup riadenej sústavy  $P^*$  na Obr. 3).



Obr. 4 Hardvérové komponenty riadiaceho systému a riadenej sústavy

Tabuľka 2

#### Základné parametre modulu analógových vstupov a výstupov SM 334

<i>Parametre vstupov:</i>	
Počet vstupov:	4
Merané veličiny:	napätie, prúd
Vstupný rozsah:	0 až 10 V
	0 až 20 mA
Rozlišovacia schopnosť:	8 bitov
Doba prevodu (všetky kanály):	5 ms
<i>Parametre výstupov:</i>	
Počet výstupov:	2
Výstupné veličiny:	napätie, prúd
Výstupný rozsah:	0 až 10 V
	0 až 20 mA
Rozlišovacia schopnosť:	8 bitov
Doba prevodu (všetky kanály):	5 ms
Impedancia záťaže na napäťovom výstupe:	min. 5 kΩ
Impedancia záťaže na prúdovom výstupe:	max. 300 Ω

PLC je možné konfigurovať, programovať a monitorovať z počítača typu PC s nainštalovaným softvérom STEP 7, S7-SCL a WinCC. Komunikácia počítača s PLC prebieha rozhraním MPI, ktoré si na strane PC vyžaduje vloženie dosky CP5611 do roštu zbernice PCI.

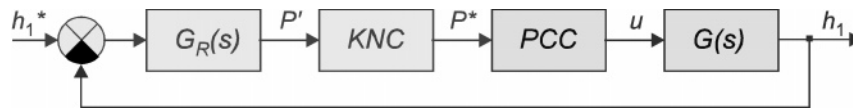
#### 4 Algoritmus riadenia

Riadenou veličinou sústavy je výška hladiny kvapaliny v nádrži 1. Z toho dôvodu sme metódou najmenších štvorcov identifikovali prenos sústavy  $G(s)$  v troch pracovných bodoch. Identifikáciu sme vykonali pri 20, 30 a 40 % akčného zásahu (akčným zásahom je výkon čerpadla).

Pomocou Charitonovej metódy intervalových polynómov sme pre identifikovanú linearizovanú sústavu navrhli spojité PI regulátor s prenosovou funkciou (7).

$$G_R(s) = 0.914 + \frac{0.1174}{s} \quad (7)$$

Štruktúra regulačného obvodu výšky hladiny v prvej nádrži je na Obr. 5. Blok *KNC* kompenzuje nelinearitu prevodovej charakteristiky čerpadla uvedenej na Obr. 2 a ktorá je na Obr. 5 označená *PCC*.



Obr. 5 Štruktúra regulačného obvodu výšky hladiny v nádrži 1

## 5 Implementácia algoritmu riadenia

Program riadiaci riadenú sústavu musí obsahovať nielen implementáciu PI regulátora (7), ale aj možnosť zadávania žiadanej výšky hladiny ( $h_1^*$  - vid' Obr. 5) a možnosť prerušenia procesu regulácie.

Na programovanie požadovanej činnosti PLC sme použili programovací jazyk SCL (Structured Control Language), ktorý je súčasťou programového vybavenia dodávaného k PLC SIMATIC. V tomto príspevku uvedieme len spôsob programovania PI regulátora výšky hladiny.

PI regulátor bol realizovaný pomocou funkčného bloku Cont\_C (FB41), ktorý je súčasťou knižnice systémových a štandardných blokov Step 7. Blok Cont\_C realizuje PID regulátor a pri jeho volaní je nutné nastaviť parametre regulátora v súlade so (7). Výstup regulátora je vyjadrený vzťahom (8). Nastavenie vstupných parametrov bloku Cont\_C je na Obr. 6. Význam parametrov bloku Cont\_C je zrejmý z komentárov oddelených znakmi „//“.

$$P' = (h_1^* - h_1) \cdot GAIN \cdot \left( 1 + \frac{1}{TI \cdot s} + TD \cdot s \right) \quad (8)$$

Blok je volaný cyklicky z organizačného bloku OB 35, s periódou 10 ms. Organizačný blok OB 35 je blok spúšťaný cyklicky s nastaviteľnou (konštantnou) periódou.

```

CONT_C.DB41 (
  MAN_ON :=pid_MAN_ON,      //premenná umožňujúca manuálne
                             //nastavenie výstupu regulátora

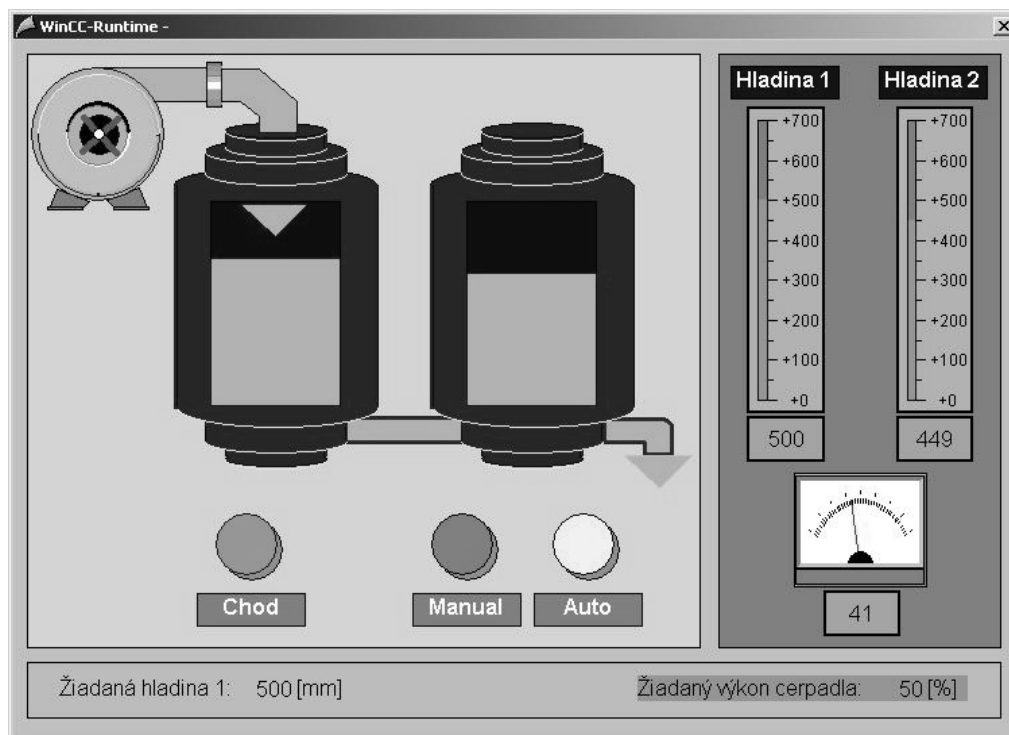
  PVPER_ON:=FALSE,
  P_SEL   :=TRUE,          //P zložka je aktívna
  I_SEL   :=TRUE,          //I zložka je aktívna
  INT_HOLD:=FALSE,
  I_ITL_ON:=pid_I_ITL_ON,
  D_SEL   :=FALSE,        //D zložka nie je aktívna
  CYCLE   :=T#10MS,       //Periódka volania regulátora
  SP_INT  :=Veliciny.Z_Hladina1, //Vstup žiadanej hodnoty
  PV_IN   :=Veliciny.Hladina_1, //Vstup meranej hodnoty
  MAN     :=pid_MAN,
  GAIN    :=0.914,         //Zosilnenie P zložky
  TI      :=T#7S760MS,    //Čas. konšt. I zložky = 7.76 [s]
  TD      :=T#1S,         //Čas. konšt. D zložky
  LMN_HLM :=1.000000e+002, //Obmedzenie výstupu regulátora
  LMN_LLM :=1.000000e-006, //Obmedzenie výstupu regulátora
  LMN_FAC :=0.55,
  LMN_OFF :=10,
  I_ITLVAL:=pid_I_ITL_VAL);

```

Obr. 6 Volanie funkčného bloku Cont\_C z OB 35

Žiadaná hodnota hladiny  $h_1^*$ , je zadávaná prostredníctvom okna vizualizácie (vid' Obr. 7), ktorá bola implementovaná s využitím WinCC. Ľavá časť okna zobrazuje sústavu, pravá časť hodnoty meraných veličín a akčnú veličinu. Hodnoty meraných veličín  $h_1$  a  $h_2$  v milimetroch

sú zobrazené pomocou stĺpcového indikátora a číselnej hodnoty. Hodnota akčnej veličiny  $P^*$  (výkon čerpadla) v percentách maximálneho výkonu je indikovaná pomocou ručičkového meradla a číselného údajja.



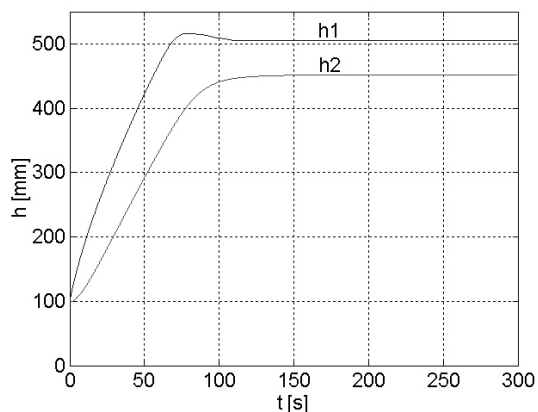
Obr. 7 Okno vizualizácie procesu vo WinCC

## 6 Namerané výsledky

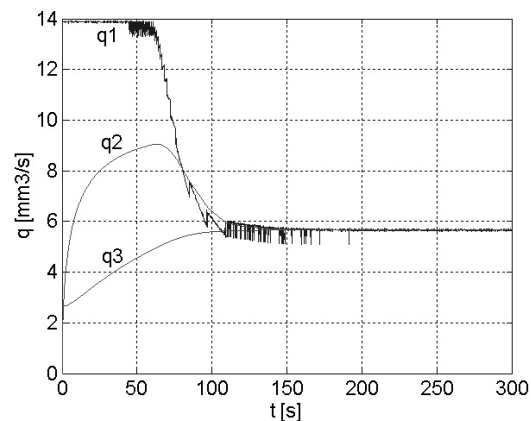
Činnosť regulačného obvodu výšky hladiny je ilustrovaná na výsledkoch experimentu, ktoré sú na Obr. 8 a Obr. 9. Experiment zobrazuje priebehy stavových veličín a akčného zásahu pri skokovej zmene žiadanej hodnoty  $h_1^*$  zo 100 na 500 mm. Okno s vizualizáciou procesu na Obr. 7 zobrazuje situáciu v ustálenom stave – po dosiahnutí žiadanej hladiny kvapaliny v prvej nádrži.

Čas simulácie bol 300 s, perióda vzorkovania  $T_v = 2$  ms.

Ustálená hodnota hladiny  $h_1$  presahuje žiadanú hodnotu o 5 mm. Táto odchýlka je spôsobená nízkou rozlišovacou schopnosťou A/D a D/A prevodníkov na strane PLC (viď parametre modulu SM334 v tabuľke 2). Podobne zákmity akčného zásahu sú spôsobené kvantovaním signálu meraných hladín 8-bitovým A/D prevodníkom modulu SM 334.

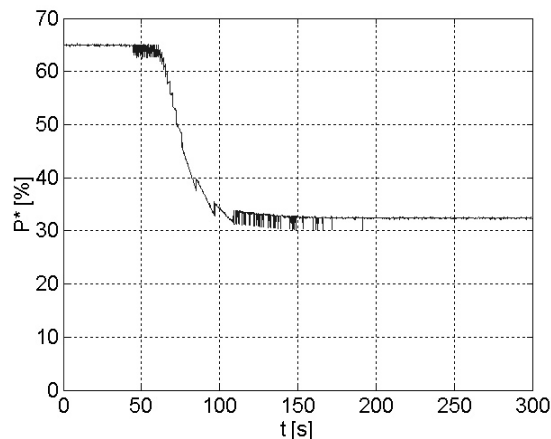


a) Priebehy hladín



a) Priebehy prietokov

Obr. 8 Priebehy hladín a prietokov v nádržiach



Obr. 9 Priebeh akčného zásahu

## 7 Záver

Cieľom príspevku bolo opísať princíp implementácie RT modelu sústavy pomocou Real-Time Windows Target a prepojenie tohto modelu s reálnym PLC typu SIMATIC S7.

Pri implementácii modelu sústavy bol použitý počítač typu PC s CPU Intel Celeron, taktovacou frekvenciou procesora 1 GHz a 128 MB RAM. Perióda vzorkovania modelu sústavy bola 2 ms. Na prevod analógových vstupných a výstupných signálov modelu bola použitá doska firmy Humusoft typu AD512.

Model sústavy realizovaný pomocou RTWT sústavy je možné ďalej zdokonaľovať, aby viac zodpovedal reálnej sústave. Napríklad je možné doplniť ho o pomalý rozbeh čerpadla, alebo generovať prídavné šumy na výstupoch modelu sústavy (ktoré zodpovedajú výstupom snímačov hladín). Programátor PLC si môže takto overiť vplyv reálnych vlastností sústavy na kvalitu riadenia.

Realizovaný model zatiaľ neobsahuje vizualizáciu sústavy, ktorá bude realizovaná neskôr.

## Literatúra

- [1] Masár, I., Ivanov, I.: Aplikácie reálneho času v programovom prostredí MATLAB/SIMULINK. Vydavateľstvo STU Bratislava, 2001. ISBN 80-227-1601-4.
- [2] Humusoft: AD 512, Data Acquisition Card – User's manual. 1997.
- [3] Siemens: SIMATIC S7-SCL V5.1 for S7-300/S7-400 Manual. September 2000.
- [4] Siemens: SIMATIC S7-300 and M7-300 Programmable Controllers, Reference Manual. September 2000.

## Kontaktná adresa

Igor Bélai, Katedra automatizácie a regulácie, STU, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovensko. E-mail: [ibelai@kar.elf.stuba.sk](mailto:ibelai@kar.elf.stuba.sk).